

PENGARUH LAJU ALIR UMPAN TERHADAP pH, ALKALINITAS DAN ASAM VOLATIL PADA PENGOLAHAN LIMBAH CAIR KELAPA SAWIT MENGGUNAKAN BIOREAKTOR HIBRID ANAEROB DUA TAHAP

Gita Aziza Salis¹⁾, Adrianto Ahmad²⁾, Sri Rezeki Muria²⁾

¹⁾Mahasiswa Program Studi Teknik Lingkungan, ²⁾Dosen Teknik Kimia
Fakultas Teknik Universitas Riau
Kampus Binawidya Km 12,5 Simpang Baru Panam, Pekanbaru 28293
email: gita.salis@gmail.com

ABSTRACT

Ratio of total volatile acid and alkalinity can represent the stability of bioreactor. Goal of this experiment is to determine the influence of feed flow rate to change of pH, alkalinity and volatile acid in two stage of anaerobic hybrid bioreactor, it also to knows the stability rate of bioreactor that used. Bioreactor that used in this experiment is a bioreactor that have two pattern of microorganism growth there are suspended and cling phase with rock and palm oil shells as the immobilize media of microorganism cell. Active volume of bioreactor that used in this experiment is 10 liter with variating feed flow rate 1,4; 2; and 3,3 L/day for 2nd stage bioreactor with operation condition pH 6,8 – 7,2 in room temperature. Parameter that analyzed from this experiment is the ratio of volatile acid with alkalinity from bioreactor effluent. In 1st stage of bioreactor, feed flow rate that used is 5 L/day and the result found was average of pH in 6,7; average of alkalinity concentration is 2220,8 mg/L and average of volatile acid concentration is 413,52 mg/L so that ratio of TAV/Alkalinity was 0,812. Results of this experiment shows that the highest stability of 2nd anaerobic hybrid bioreactor is 0,033 in smallest feed flow rate 1,4 L/day.

Keywords : alkalinity; Hybrid anaerobic bioreactor; stability; Volatile acids

1. PENDAHULUAN

Perkembangan bisnis dan investasi kelapa sawit dalam beberapa tahun terakhir mengalami pertumbuhan yang sangat pesat. Permintaan atas minyak nabati dan penyediaan biofuel telah mendorong peningkatan permintaan minyak nabati yang bersumber dari *crude palm oil* (CPO) yang berasal dari sawit. Namun seperti dua sisi mata uang yang tidak dapat terpisahkan, dampak positif dari perkembangan juga diikuti dampak negatif terhadap lingkungan akibat dihasilkannya limbah cair industri dari hasil pengolahan minyak sawit.

Bila limbah cair yang memiliki kandungan bahan organik tinggi langsung dibuang ke perairan sangat berpotensi mencemari lingkungan. Untuk itu

dilakukan pengolahan limbah cair sebelum limbah cair tersebut dibuang ke perairan [Ahmad, 1992]. Hal ini dilakukan untuk mencegah terjadinya pencemaran agar aktivitas biota perairan tidak terganggu dan kualitas air tidak menurun.

Pada dekomposisi anaerob faktor pH sangat berperan, karena pada rentang pH yang tidak sesuai mikroba tidak dapat tumbuh dengan maksimum dan bahkan menyebabkan kematian yang pada akhirnya dapat menghambat perolehan gas metana. Derajat keasaman yang optimum bagi kehidupan mikroorganisme adalah 6,8 hingga 7,8 [Smit, 2011]. Alkalinitas limbah cair membantu mempertahankan pH agar tidak mudah berubah yang disebabkan oleh

penambahan asam. Selain itu, alkalinitas juga mempengaruhi pengolahan zat-zat kimia dan biologi serta dibutuhkan sebagai nutrisi bagi mikroba [Putra dkk, 2010].

Dalam pengolahan limbah cair kelapa sawit dengan menggunakan bioreaktor hibrid anaerob dua tahap tidak hanya memperhatikan parameter-parameter seperti pH dan alkalinitas, tetapi juga memperhatikan asam asetat. Menurut Smit [2011] asam asetat yang bersifat volatil ini bisa berdampak sebagai pencemaran udara yang menyebabkan bau asam terhadap lingkungan sekitarnya. Kandungan asam asetat merupakan salah satu faktor yang mempengaruhi terhadap kinerja bioreaktor.

2. METODE PENELITIAN

Limbah cair yang digunakan merupakan limbah cair kelapa sawit yang berasal dari Pabrik Kelapa Sawit Sei Pagar dengan karakteristik sebagai berikut

Tabel 1. Karakteristik Limbah Cair Kelapa Sawit

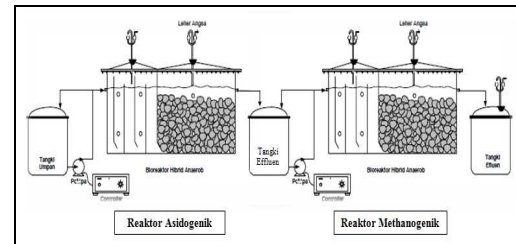
Parameter	Nilai	Baku mutu*)
pH	6,5	6,8-7,4
Rasio TAV/Alkalinitas	0,56	,0,1

*) Ahmad [2004]

Variabel proses yang digunakan adalah variasi waktu detensi yaitu 7 hari, 5 hari dan 3 hari. Parameter yang diamati adalah pH, alkalinitas dan asam lemak volatil. Metode pengukuran pH menggunakan pH meter, alkalinitas dan asam volatil dengan metode titrasi sesuai dengan standard methods [APHA, AWWA dan WPCF,1992]. Peralatan utama yang digunakan pada penelitian ini adalah bioreaktor hibrid anaerob bermedia cangkang sawit dan media batu

dan peralatan pendukung sistem secara keseluruhan terdiri dari pompa, digester anaerobik, leher angsa, gelas ukur, selang, dan tangki efluen

Gambar rangkaian alat bioreaktor hibrid anaerob dua tahap dapat dilihat pada Gambar 1.



Gambar 1. Rangkaian Instalasi Pengolahan Limbah Cair

dapat dilihat bahwa media pelekot dimasukkan ke dalam bagian yang tidak bersekat dengan ketinggian $\frac{3}{4}$ dari tinggi cairan. Kemudian pada bagian yang tersuspensi dan melekat dimasukkan kultur campuran yang terdiri dari kotoran sapi dan substrat berupa limbah cair kelapa sawit yang telah diaklimatisasi. Volume reaktor efektif cairan 10 liter pada bioreaktor I dan 10 liter pada bioreaktor II. Lalu diinjeksikan gas nitrogen ke dalam sistem melalui lubang yang telah tersedia pada bioreaktor selama 10 menit pada masing masing fasa pertumbuhan tersuspensi dan melekat yang bertujuan untuk mengusir oksigen. Pola aliran mengikuti rezim di dalam sistem bioreaktor [Smit, 2011].

Limbah cair kelapa sawit yang akan diolah, dimasukkan ke dalam tangki umpan. Kemudian, dengan menggunakan pompa, limbah cair tersebut dialirkan menuju bioreaktor I dengan laju alir umpan 5 liter/hari. Aliran limbah cair kelapa sawit yang ada di dalam bioreaktor turun dan naik mengikuti sekat yang ada di dalam bioreaktor hibrid anaerob dua fasa dan aliran tersebut akan keluar menuju tangki *effluent*. Dari tangki *effluent* limbah cair sawit akan

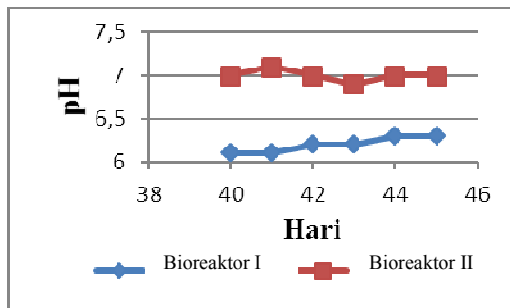
dipompakan kembali menuju bioreaktor II dengan laju alir umpan yang telah divariasikan. Pada bagian atas bioreaktor hibrid anaerob dua fasa ini dilengkapi dengan leher angsa dan selang. Larutan garam diisi pada leher angsa agar dapat mencegah masuknya mikroorganisme pengganggu dari luar bioreaktor.

3. HASIL DAN PEMBAHASAN

Hasil pengamatan melihat perubahan pH, alkalinitas dan asam lemak volatil pada kondisi start up dan kondisi kontinu bioreaktor.

3.1 Perubahan pH pada Kondisi tunak Start up Bioreaktor

Dilakukan pengukuran pH setiap hari selama start up, namun fokus pada enam hari terakhir start up saat tunak bioreaktor. Hasil pengukuran pH tersebut dapat dilihat pada Gambar 2.

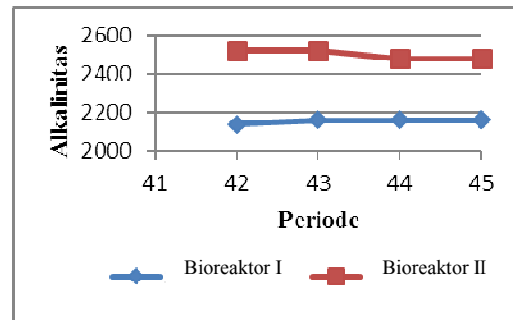


Gambar 2. Perubahan pH Tahap *Start up*

Dari gambar 2 menunjukkan bahwa nilai pH sistem pada hari ke-40 hingga hari ke-45 relatif konstan, hal ini menandakan kondisi tunak sudah tercapai. Pada rentang pH tersebut diperkirakan mikroorganisme anaerobik yang digunakan di dalam bioreaktor dapat berkembang dengan optimum mengingat kondisi lingkungan mikroorganisme anaerobik berkisar pada pH antara 5,8 – 8,2 [Speece, 1996].

3.2 Perubahan Konsentrasi Alkalinitas Tahap *Start up*

Dilakukan pengukuran konsentrasi alkalinitas setiap hari selama start up, namun fokus pada enam hari terakhir start up saat tunak bioreaktor. Hasil pengukuran alkalinitas tersebut dapat dilihat pada Gambar 3.



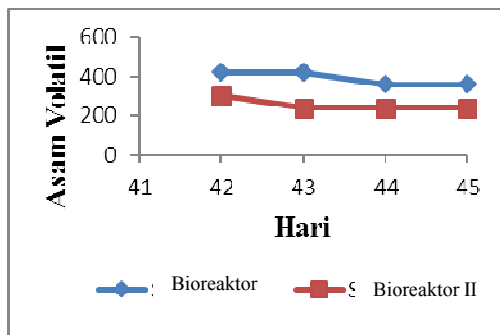
Gambar 3. Perubahan pH Tahap *Aklimatisasi*

Gambar 3 menunjukkan bahwa konsentrasi alkalinitas pada hari ke-42 hingga hari ke-45 mendekati konstan. Terjadi perubahan peningkatan konsentrasi alkalinitas yang tidak terlalu signifikan pada hari ke-43 hingga hari ke-45 pada bioreaktor bermedia cangkang sawit dan penurunan konsentrasi alkalinitas pada bioreaktor media pelekatnya cangkang sawit dan batu. Hal ini terjadi karena telah tercapai kondisi steady state (tunak bioreaktor) yaitu terjadi fluktuasi sebesar 10% terhadap konsentrasi alkalinitas pada limbah cair industri minyak kelapa sawit yang diolah.

3.3 Perubahan Konsentrasi Asam Volatil Tahap *Start up*

konsentrasi asam lemak volatil pada hari ke-42 hingga hari ke-45 mendekati konstan dan cenderung semakin menurun. Pada hari ke-42, konsentrasi asam lemak volatil yang dihasilkan sebesar 420 mg/L dan pada bioreaktor II sebesar 300 mg/L, hari ke-44 pada bioreaktor I, konsentrasi asam lemak volatil yang dihasilkan menurun menjadi

sebesar 360 mg/L. Pada hari ke-43 bioreaktor II, konsentrasi asam lemak volatil semakin menurun menjadi 240 mg/L. Rata-rata konsentrasi asam lemak volatil pada kondisi tunak adalah sebesar 390 mg/L dan 255 mg/L masing-masing pada bioreaktor I dan II.



Gambar 4. Konsentrasi As. Volati tahap *start-up*

Penurunan konsentrasi asam lemak volatil ini terjadi akibat asam-asam volatil yang terbentuk mampu disangga oleh unsur alkali yang terdapat di dalam air buangan, sehingga menjaga kondisi pH tidak terlalu asam [Ahmad,1992].

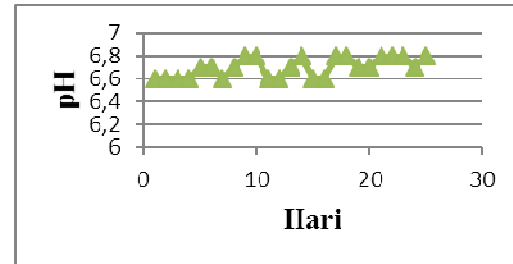
3.4 Kestabilan Bioreaktor kondisi Start-up

Kestabilan bioreaktor dilihat dari Total Asam Volatil berbanding dengan alkalinitas $< 0,1$. Kestabilan bioreaktor dapat dilihat dari rasio total asam volatil berbanding konsentrasi alkalinitas. Menurut Ahmad [2004], sistem yang mempunyai kestabilan tinggi harus mempunyai nisbah TAV/Alkalinitas kecil dari 0,1. Pada penelitian ini tingkat kestabilan bioreaktor kondisi start up bioreaktor pertama lebih rendah dibandingkan pada bioreaktor II. Pada bioreaktor I tingkat kestabilan tertinggi sebesar 0,15 dan 0,095 pada bioreaktor II.

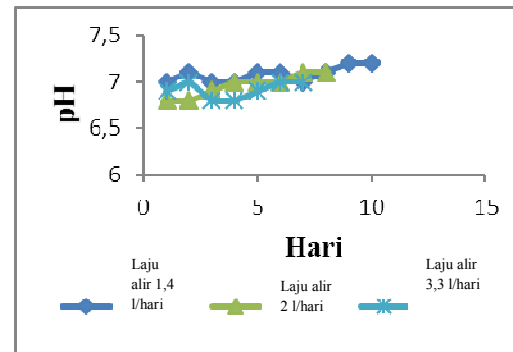
3.5 Perubahan pH Selama Kondisi Transien Tahap Kontinu

Setelah tercapai kondisi tunak selama 45 hari, kemudian dilanjutkan

dengan proses kontinu bioreaktor hibrid anaerob dua tahap dengan memvariasikan laju alir pada bioreaktor II sebesar 3,3 L/hari, 2 L/hari dan 1,4 L/hari. Proses kontinu dilakukan dengan tujuan untuk mengetahui kinerja optimal bioreaktor hibrid anaerob bermedia cangkang sawit dan batu yang digunakan, ditunjukkan pada Gambar 5 dan Gambar 6.



Gambar 5. Kondisi Transien pH bioreaktor I

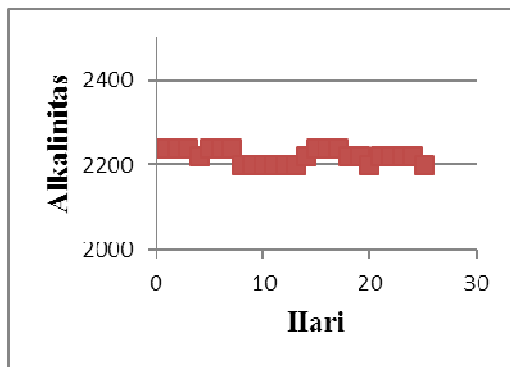


Gambar 6. Kondisi Transien pH bioreaktor II

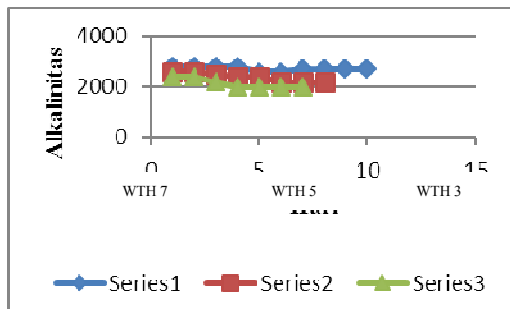
Pada Gambar 5 dan Gambar 6 kondisi pH paling tinggi terjadi pada WTH 7 hari dengan nilai rata-rata pH sebesar 7,2, sedangkan kondisi pH paling rendah terjadi pada WTH 3 hari dengan nilai rata-rata pH sebesar 6,91 dan kondisi pH terendah sebesar 6,8. Dan rata-rata kondisi pH pada WTH 5 hari adalah sebesar 6,96. Pada WTH 7 hari merupakan kondisi pH optimum untuk perkembangan mikroorganisme anaerobik yang berkisar pada pH 6,8-7,4 [Ahmad, 2004].

3.6 Kondisi Transien Alkalinitas Pada tahap Kontinu

Perubahan konsentrasi alkalinitas selama proses kontinu bioreaktor hibrid anaerob bermedia batu dan cangkang sawit ditunjukkan pada Gambar 7 dan Gambar 8.



Gambar 7. Konsentrasi Alkalinitas kondisi kontinu Bioreaktor I



Gambar 8. Konsentrasi Alkalinitas kondisi kontinu Bioreaktor II

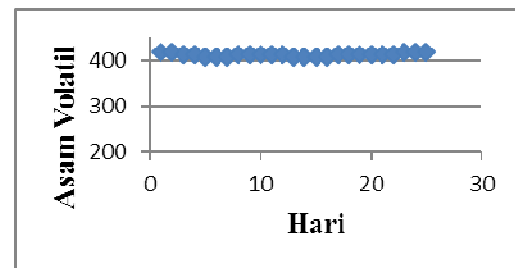
Pada Gambar 7 dan Gambar 8 menunjukkan konsentrasi alkalinitas tertinggi pada proses kontinu terjadi pada WTH 7 hari yaitu dengan nilai rata – rata sekitar 2660 mg/L pada bioreaktor II, sedangkan konsentrasi alkalinitas yang paling rendah terjadi pada laju alir 3,3 l/hari dengan nilai rata-rata bioreaktor II sebesar 2142,857 mg/L. Dan konsentrasi alkalinitas masing-masing pada bioreaktor II rata-rata pada laju alir 2 l/hari adalah sebesar 2387,5 mg/L hubungan antara konsentrasi alkalinitas, pH, dan asam lemak volatil

mengalami kestabilan sistem yang cukup tinggi karena konsentrasi alkalinitas pada tahap kontinu meningkat cukup tinggi. Ini mengakibatkan nilai pH juga ikut meningkat, sedangkan nilai asam lemak volatil mengalami penurunan, disamping itu Ng dkk [1985] melaporkan bahwa alkalinitas sekitar 2000 mg/l mampu mencegah penurunan pH dibawah 6,9. Alkalinitas normal untuk pengolahan secara anaerob adalah 1000-5000 mg/L [Metcalf and Eddy,1991].

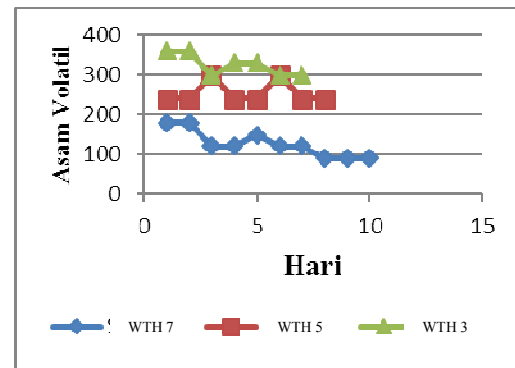
3.7 Kondisi Transien Asam Volatil

Pada tahap Kontinu

Perubahan konsentrasi asam lemak volatil selama proses kontinu bioreaktor hibrid anaerob bermedia cangkang sawit dan batu ditunjukkan pada Gambar 9 dan Gambar 10.



Gambar 9. Konsentrasi Asam Volatil kondisi kontinu Bioreaktor I



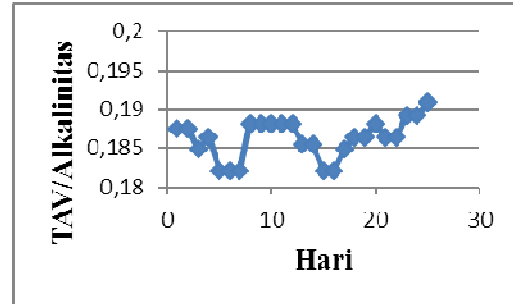
Gambar 10. Konsentrasi Asam Volatil kondisi kontinu Bioreaktor II

Pada Gambar 9 dan Gambar 10 ditunjukkan bahwa konsentrasi asam lemak volatil yang dihasilkan pada proses kontinu semakin menurun pada tiap WTH, ini mengakibatkan senyawa organik yang ada didalam bioreaktor hibrid anaerob semakin menurun, dengan turunnya konsentrasi asam lemak volatil di dalam bioreaktor hibrid anaerob maka aktivitas mikroorganisme tidak akan terganggu, hal ini dapat dilihat dengan terjadinya peningkatan produksi biogas. Penurunan konsentrasi asam lemak volatil yang paling rendah terjadi pada laju alir 1,4 l/hari dengan nilai konsentrasi rata – rata sekitar 126 mg/L pada bioreaktor II, sedangkan konsentrasi asam volatil yang paling tinggi pada laju alir 3,3 l/hari dengan nilai konsentrasi rata – rata 325,71 mg/L pada bioreaktor II. Konsentrasi asam volatil rata – rata pada laju alir 2 l/hari adalah 255 mg/L pada bioreaktor II. Turunnya konsentrasi asam lemak volatil di dalam bioreaktor hibrid anaerob tahap II tidak mengganggu aktivitas mikroorganisme, hal ini dapat dilihat dari pH yang dihasilkan pada sistem.

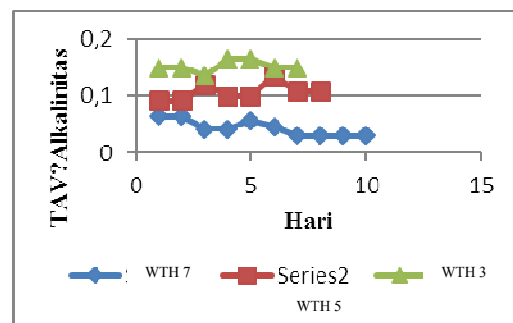
Konsentrasi asam lemak volatil bioreaktor ini berada pada kondisi stabil, hal ini didukung oleh kondisi pH pada Gambar 4.4. Menurut Ahmad [1992], kondisi optimum fermentasi metan berlangsung pada rentang asam lemak volatil 50-500 mg/L dan ekstrim pada konsentrasi 2000 mg/L.

3.8 Kestabilan Bioreaktor Kondisi Kontinu

Kestabilan bioreaktor dapat ditunjukkan dari rasio asam lemak volatil dengan konsentrasi alkalinitas. Pada proses kontinu penelitian ini tingkat kestabilan bioreaktor I dan bioreaktor II dapat dilihat pada Gambar 11 dan Gambar 12



Gambar 11. Kestabilan Bioreaktor Kondisi kontinu Bioreaktor I



Gambar 12. Kestabilan Bioreaktor Kondisi kontinu Bioreaktor II

Pada penelitian ini kestabilan bioreaktor I dan II terjadi pada waktu tinggal hidrolis yang pertama yaitu 7 hari dengan kecepatan laju alir sebesar 1,4 L/hari 0,03. Pada bioreaktor hibrid anaerob tahap pertama diatur laju alir konstan sebesar 5 L/hari didapat kestabilan reaktor terkecil sebesar 0,182.

3.9 Studi Komparatif Kinerja Bioreaktor Hybrid Anaerob

Studi komparatif kinerja bioreaktor hibrid anaerob ditinjau dengan membandingkan kinerja bioreaktor hibrid anaerob terhadap bioreaktor anaerob lainnya dalam mengolah limbah cair industri. Perbandingan kinerja bioreaktor hibrid anaerob dengan bioreaktor lainnya disajikan dalam Tabel 2.

Tabel 2. Studi Komparatif Kinerja Bioreaktor Hibrid Anaerob

Jenis Bioreaktor	WTH (jam)	Rasio TAV / Alkalinitas	Sumber
BUFAN Fasa Tunggal	168	0,3	Ahmad (2004)
BMA Fasa Tunggal	288	0,19	Ahmad (2004)
BUFAN Dua Fasa	48 & 72	0,03	Ahmad (2004)
BMA Dua Fasa	24 & 48	0,14	Ahmad (2004)
Bioreaktor Hibrid - Media Tankos Sawit - Media Pelepah Sawit	60 72	0,039 0,036	Syahrizal dkk (2010)
Bioreaktor Hibrid Media Batu	24	0,15	Putra dkk (2010)
Bioreaktor Hibrid Media Batu	96	0,56	Smit dkk (2011)
Bioreaktor Hibrid Media cangkang sawit dan Batu	168	0,064 dan 0,03	Penelitian ini (2015)

Pada Tabel 4.2 ditunjukkan bawa kondisi operasi optimum bioreaktor unggul fluidisasi anaerob fasa tunggal dalam mengolah limbah cair pabrik kelapa sawit yaitu pada WTH 168 jam dengan nisbah TAV/alkalinitas 0,3 dan penyisihan organik 83%, sedangkan kondisi operasi optimum bioreaktor unggul fluidisasi anaerob dua fasa dalam mengolah limbah cair pabrik kelapa sawit yaitu pada WTH 48 jam pada fasa asidogenesis dan 72 jam pada fasa metanogenesis dengan nisbah TAV/alkalinitas 0,03 serta penyisihan organik 94%. Disamping itu, kondisi optimum bioreaktor membran anaerob fasa tunggal dalam mengolah limbah cair pabrik kelapa sawit yaitu pada WTH 288 jam dengan nisbah TAV/Alkalinitas 0,19 dan penyisihan organik 94%, sedangkan kondisi optimum bioreaktor membran anaerob dua fasa dalam mengolah limbah cair pabrik kelapa sawit yaitu pada WTH 24 jam pada fasa asidogenesis dan 48 jam pada fasa metanogenesis dengan nisbah

TAV/alkalinitas 0,14 dan penyisihan organik 90%.

Sementara itu, kondisi optimum bioreaktor hibrid anaerob bermedia tandan kosong dalam mengolah limbah cair pabrik kelapa sawit terjadi pada WTH 60 jam dengan nisbah TAV/alkalinitas 0,039 dan penyisihan organik 71%, untuk bioreaktor bermedia pelepah dalam mengolah limbah cair pabrik kelapa sawit terjadi pada WTH 72 jam dengan nisbah TAV/alkalinitas 0,036 dan penyisihan organik 84%, sedangkan untuk bioreaktor hibrid anaerob bermedia batu dalam mengolah limbah cair pabrik kelapa sawit terjadi pada WTH 24 jam dengan nisbah TAV/alkalinitas 0,16 dan penyisihan organik 80%. Bioreaktor hibrid anaerob bermedia cangkang sawit pada penelitian Smit dkk [2011] berada pada kondisi optimum pada WTH 96 jam dengan nisbah TAV/Alkalinitas 0,056 dan penyisihan organik sebesar 89%.

Bioreaktor hibrid anaerob bermedia cangkang sawit dan batu pada

penelitian ini berada pada kondisi optimum pada WTH 168 jam dengan nisbah TAV/Alkalinitas pada bioreaktor I sebesar 0,064 dan pada bioreaktor II sebesar 0,03. Menurut Ahmad [2004], sistem yang mempunyai kestabilan tinggi harus mempunyai nisbah TAV/Alkalinitas kecil dari 0,1. Dengan demikian kinerja bioreaktor hibrid anaerob tahap II ini bisa dikatakan memiliki tingkat kestabilan yang tinggi.

pada penelitian Smit dkk [2011] berada pada kondisi optimum pada WTH 96 jam dengan nisbah TAV/Alkalinitas 0,056 dan penyisihan organik sebesar 89%.

4. KESIMPULAN DAN SARAN

Dari hasil penelitian dan pembahasan dapat diambil kesimpulan yaitu:

1. pH dan konsentrasi alkalinitas yang didapat berbanding terbalik dengan perubahan laju alir yang digunakan. Berbeda dengan asam volatil yang berbanding lurus dengan perubahan laju alir,
2. Pada bioreaktor tahap I dengan laju alir konstan didapat pH rata-rata sebesar 6,7; konsentrasi alkalinitas rata-rata sebesar 2220,8 mg/l dan rata-rata konsentrasi asam lemak volatil sebesar 413,52 mg/l sehingga didapat rasio TAV/Alkalinitas sebesar 0,182.
3. Tingkat kestabilan tertinggi bioreaktor hibrid anaerob tahap II terjadi pada laju alir terkecil sebesar 1,4 l/hari yaitu 0,03.

Saran lanjutan yang dapat ditindak lanjuti pada penelitian ini antara lain:

1. Pada penelitian selanjutnya, perlu dilakukan identifikasi bakteri

Bioreaktor hibrid anaerob bermedia cangkang sawit dan batu pada penelitian ini berada pada kondisi optimum pada WTH 168 jam dengan nisbah TAV/Alkalinitas pada bioreaktor I sebesar 0,064 dan pada bioreaktor II sebesar 0,03 serta penyisihan organik sebesar 91%. Menurut Ahmad [2004], sistem yang mempunyai kestabilan tinggi harus mempunyai nisbah TAV/Alkalinitas kecil dari 0,1. Dengan demikian kinerja bioreaktor hibrid anaerob bermedia cangkang sawit ini bisa dikatakan memiliki tingkat kestabilan yang tinggi.

pada bioreaktor tersuspensi dengan bioreaktor melekat.

2. Pada penelitian selanjutnya, perlu dilakukan uji komposisi biogas dan potensi energi gas metan pada kondisi kestabilan bioreaktor yang terbaik.

5. DAFTAR PUSTAKA

- Ahmad, A, 1992. Kinerja Bioreaktor Unggun Fluidisasi Anaerobik Dua Tahap dalam Mengolah Limbah Cair Industri Minyak Kelapa Sawit. *Laporan Magang*, Pusat Antar Universitas-Bioteknologi, Institut Teknologi Bandung.
- Ahmad, A, 2004. Teknologi Bioproses dalam Pengolahan Limbah Cair Pabrik Kelapa Sawit. *Seminar Nasional Teknik Kimia Teknologi Oleo dan Petrokimia Indonesia*. Universitas Riau.
- Ahmad, A., 2009. *Dasar-Dasar Teknologi Pengolahan Limbah Cair*. UNRI Press, Pekanbaru
- Ahmad, A, 2011. Pengolahan Limbah Cair Pabrik Kelapa Sawit Menggunakan Bioreaktor Hibrid

- Anaerob Dua Tahap. *Seminar Nasional Teknik Kimia Teknologi Oleo dan Petrokimia Indonesia*. Universitas Riau.
- APHA, AWWA dan WCF., 1985, *Standard methods for the examination of water and wastewater*, American Public Health Association, Washington DC
- Chin, K.K. 1981, Anaerobic Treatment kinetics of Palm Oil Sludge, *Water Research*, 15 (2), 199-202.
- Firmansyah, L dan M. Saputra., 2001. *Pengolahan Limbah Cair Kelapa Sawit di PT. Perkebunan Nusantara V Sei Pagar*, Laporan Kerja Praktek, Pekanbaru.
- Grady,Jr, C.P.L dan H.C Lim, 1980, *Biological Wastewater Treatment, Theory and Application*, Marcel Dekker Inc, New York and Basel.
- Irfan, M., 2008, *Pengolahan Limbah Cair Pabrik Kelapa Sawit dengan Land Application System di PT. Perkebunan Nusantara V Sei. Pagar*, Laporan Kerja Praktek, Pekanbaru.
- Metcalf dan Eddy, (1991), "*Wastewater Engineering, Treatmen, Disposal, dan Reuse*", Mc-Graw Hill, New York.
- Ng, W. J, K.K Wong dan K. K. Chin., 1985, Two-phase Anaerobic Treatment Kinetics of Palm Oil Wastewaters, *Water Research*, 19(5), 667-669.
- Putra, L. P., A. Ahmad dan Chairul, 2010, Uji Kestabilan Bioreaktor Hibrid Anaerob Bermedia Batu dengan Indikator Rasio Asam Volatil dan Alkalinitas, *Prosiding STKSR Rekayasa Proses & Produk Menuju Pengembangan Proses yang berkelanjutan dan Kompetitif*, ITB, Bandung, 25-26 Oktober.
- Sa'adah, N.R., dan P. Winarti, 2010, *Pengolahan Limbah Cair Domestik Menggunakan Lumpur Aktif Proses Anaerob*, Universitas Diponegoro.
- Smit, H. H. A., 2011. *Uji Kestabilan Bioreaktor Hibrid Anaerob Bermedia Cangkang Sawit*, Skripsi, Universitas Riau.
- Speece R.E., 1996, *Anaerobic Biotechnology for Industrial Wastewaters*, Archae Press, Vanderbilt University.
- Syahrizal, A. Ahmad dan Chairul, 2010. Uji Kestabilan Bioreaktor Hibrid Anaerob Bermedia Tandan Kosong dan Pelepah Sawit, *Prosiding STKSR Rekayasa Proses & Produk Menuju Pengembangan Proses yang berkelanjutan dan Kompetitif*, ITB, Bandung, 25-26 Oktober.
- Wong, K.K. dan K.K. Chin, 1985, Two-phase Anaerobic Treatment Kinetic of palm oil Waste, *Water Research*, 19 (5), 667-669.